

**И. И. БОРЗЕНКОВ, Д. А. ДАНИЛЬЧЕНКО, И. Л. ЛЕБЕДИНСКИЙ, В. Р. ОБУХОВ,  
О. В. СОБЧЕНКО, С. Ю. ШЕВЧЕНКО**

## **ОБЗОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

Изоляторы воздушных линий электропередач играют важную роль в обеспечении транзита электрической энергии к потребителям. Правильный выбор и грамотный подход к диагностике и контролю электрических параметров изоляционных конструкций воздушных линий электропередач это залог эффективной и безаварийной работе сети. В данной статье проанализированы работы зарубежных авторов [1, 2] по методу косвенного измерения длины пути утечки в изоляторах воздушных линий электропередач, а также разработанного алгоритма по диагностике распределения напряжения и сопротивления гирлянд изоляторов, в средах с высоким уровнем загрязнения атмосферы, для дальнейшего обнаружения неисправных изоляторов. В работе рассмотрены методы диагностики изоляционных конструкций воздушных линий электропередач. Данные методы направлены на обеспечение повышения эффективного использования линий электропередач. Применяя метод оценки состояния изоляции согласно [2], можно на ранних стадиях развития дефекта изоляции предотвратить аварийное отключение линий электропередач. Полученные коллегами их Китая результаты измерений распределения напряжения по длине гирлянды изоляторов, вызывают интерес, поскольку все исследования подобных распределений дают несколько иные результаты. Определить достоверность данных приведенных в статье по ее материалам практически невозможно. По нашему мнению, такие результаты могут быть обусловлены методом измерения распределения напряжения по длине гирлянды изоляторов и сложностью определения момента определения приложенного напряжения. Если принять полученные в статье результаты за истину, то применяя методы диагностики [1, 2] к расчетам потерь энергии в изоляционных конструкциях, можно более точно произвести вычисления токов утечки по поверхности изоляторов в зависимости от степени загрязненности атмосферы и погодных условий при достоверном распределения напряжения и сопротивления изоляции гирлянд изоляторов.

**Ключевые слова:** длина пути утечки, ток утечки, сопротивление изоляции, изоляторы, распределение напряжения.

**I. I. BORZENKOV, D. O. DANYLCHENKO, I. L. LEBEDINSKIY, V. R. OBUKHOV,  
O. V. SOBCHENKO, S. YU. SHEVCHENKO**

## **ОГЛЯД МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

Ізолятори повітряних ліній електропередач грають важливу роль в забезпеченні транзиту електричної енергії до споживачів. Правильний вибір і грамотний підхід до діагностики та контролю електричних параметрів ізоляційних конструкцій повітряних ліній електропередач це запорука ефективної та безаварійної роботи мережі. В даній статті проаналізовані роботи зарубіжних авторів [1, 2] за методом непрямого вимірювання довжини шляху витоку в ізоляторах повітряних ліній електропередач, а також розробленого алгоритму з діагностики розподілу напруги і опору гирлянд ізоляторів, в середовищах з високим рівнем забруднення атмосфери, для подальшого виявлення несправних ізоляторів. В роботі розглянуті методи діагностики ізоляційних конструкцій повітряних ліній електропередач. Дані методи спрямовані на забезпечення підвищення ефективного використання ліній електропередач. Застосовуючи метод оцінки стану ізоляції згідно [2], можна на ранніх стадіях розвитку дефекту ізоляції запобігти аварійному відключенню ліній електропередач. Отримані колегами їх Китаю результати вимірювань розподілу напруги по довжині гирлянди ізоляторів, викликають інтерес, оскільки всі дослідження подібних розподілів дають дещо інші результати. Визначити достовірність даних наведених в статті за її матеріалами практично неможливо. На нашу думку, такі результати можуть бути обумовлені методом вимірювання розподілу напруги по довжині гирлянди ізоляторів і складністю визначення моменту визначення прикладеної напруги. Якщо прийняти отримані в статті результати за істину, то при застосуванні методів діагностики [1, 2] до розрахунків втрат енергії в ізоляційних конструкціях, можна більш точно зробити обчислення струмів витоку по поверхні ізоляторів в залежності від ступеня забрудненості атмосфери і погодних умов при достовірному розподілу напруги і опору ізоляції гирлянд ізоляторів.

**Ключові слова:** довжина шляху витоку, струм витоку, опір ізоляції, ізолятори, розподіл напруги.

**I. BORZENKOV, D. DANYLCHENKO, I. LEBEDINSKIY, V. OBUKHOV, O. SOBCHENKO,  
S. SHEVCHENKO**

## **OVERVIEW OF DIAGNOSTIC METHODS OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF INSULATION STRUCTURES OF ELECTRIC TRANSMISSION OVERHEAD POWER LINES**

Overhead power line insulators play an important role in ensuring the transit of electrical energy to consumers. The right choice and competent approach to the diagnosis and control of the electrical parameters of the insulating structures of overhead power lines is the key to effective and trouble-free operation of the network. In this article analyzes the works of foreign authors [1, 2] by the method of indirectly measuring the creepage distance in insulators of overhead power lines, as well as the developed algorithm for diagnosing the distribution of voltage and resistance of insulator strings in environments with a high level of atmospheric pollution, for further detection of malfunctioning insulators. The paper discusses methods for the diagnosis of insulating structures of overhead power lines. These methods are aimed at ensuring increased effective use of power lines. Using the method of assessing the state of insulation according to [2], it is possible to prevent an emergency shutdown of power lines in the early stages of the development of an insulation defect. The results of measurements of the distribution of voltage along the length of a string of insulators obtained by colleagues in China are of interest, since all studies of such distributions give somewhat different results. It is almost impossible to determine the reliability of the data given in the article on its materials. In our opinion, such results may be due to the method of measuring the voltage distribution along the length of the string of insulators and the difficulty in determining the moment of determining the applied voltage. If we accept the results obtained in the article as true, then applying the diagnostic methods [1, 2] to the calculation of energy losses in insulating structures, we can more accurately calculate the leakage currents on the surface of insulators depending on the degree of pollution of the atmosphere and weather conditions with a reliable voltage distribution and insulation resistance of garlands of insulators.

**Keywords:** leakage distance, leakage current, insulation resistance, insulators, voltage distribution.

**Введение.** Величина длины пути утечки изолятора является одним из конструктивных параметров, который влияет на безаварийную работу воздушных линий электропередач в процессе их эксплуатации. Он определяет конструкцию изоляционной детали и зависит от степени загрязнённости атмосферы в районе прохождения трассы воздушной линии. Этот параметр определяет кратчайшее расстояние между двумя электродами изолятора вдоль внешней поверхности изолирующего элемента при нормальном рабочем напряжении.

Определение длины пути утечки может быть выполнено двумя способами: непосредственными и удаленными измерениями [1]. Как правило, применяются непосредственные методы измерений, однако, они неприменимы в практических ситуациях из-за необходимости вывода оборудования из работы в ремонт и низкой их эффективности. С другой стороны, существуют определенные трудности с удаленными от объекта измерениями, которые отражены в следующие аспектах:

1 большинство используемых в настоящее время изоляторов на линиях электропередачи (ЛЭП) являются стеклянными;

2 изоляторы, расположенные на опоре ЛЭП, находятся на большом расстоянии от измерителя;

3 требуются датчики для бесконтактных измерений.

Для решения задачи определения длины пути утечки в работе [1] предлагается дистанционный-метод

измерения, который косвенным образом определяет тип изолятора путем расчета его структурных параметров и сопоставляя результаты с стандартными параметрами определяет тип и длину пути утечки изолятора.

Важными характеристиками эффективной работы ЛЭП являются: распределение напряжения вдоль гирлянд изоляторов и их электрическое сопротивление. Согласно [2] в нормальных условиях при низком уровне загрязнения атмосферы и низкой влажности распределение напряжения вдоль гирлянды изоляторов имеет вид U-образного распределения, а сопротивление изоляции показывает очень высокие значения, превышающие 20 ГОм. Однако данные диагностики [2], измеренные в полевых условиях, показали, что в средах с высоким уровнем загрязнения или высокой влажности распределение напряжения имеет пилообразные формы и смещение по сравнению с другими гирляндами, и при этом сопротивление изоляции значительно снижается. По этим причинам обычно используемые стандартные диагностические методы имеют тенденцию давать достаточно большие погрешности при описанных условиях.

**Дистанционный метод измерения длины пути утечки изоляторов.** Различные типы тарельчатых изоляторов обычно имеют разные электрические характеристики. На рисунке 1, в первом ряду показано четыре разных типа изолятора, во втором ряду красной линией очерчены контуры нижней части тарелки изолятора.

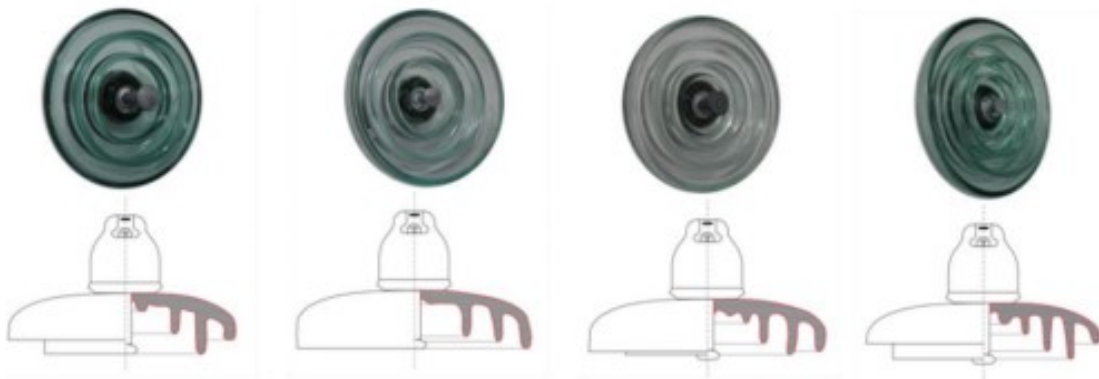


Рисунок 1 – Профили различных типов изоляторов

Поскольку тип изолятора определяет длину пути утечки, а структурные параметры различных типов изоляторов различаются, то тип изолятора можно определить путем расчета структурных параметров изолятора, после чего длина пути утечки определяется по справочнику [1].

В работе [1] предлагается дистанционный-метод измерения расстояния длины пути утечки изолятора,

который косвенным образом определяет тип изолятора путем расчета структурных параметров изоляторов на основе их геометрических характеристик, получая таким образом величину длины пути утечки. Алгоритм, лежащий в основе предлагаемого решения, изображен на рисунке 2.

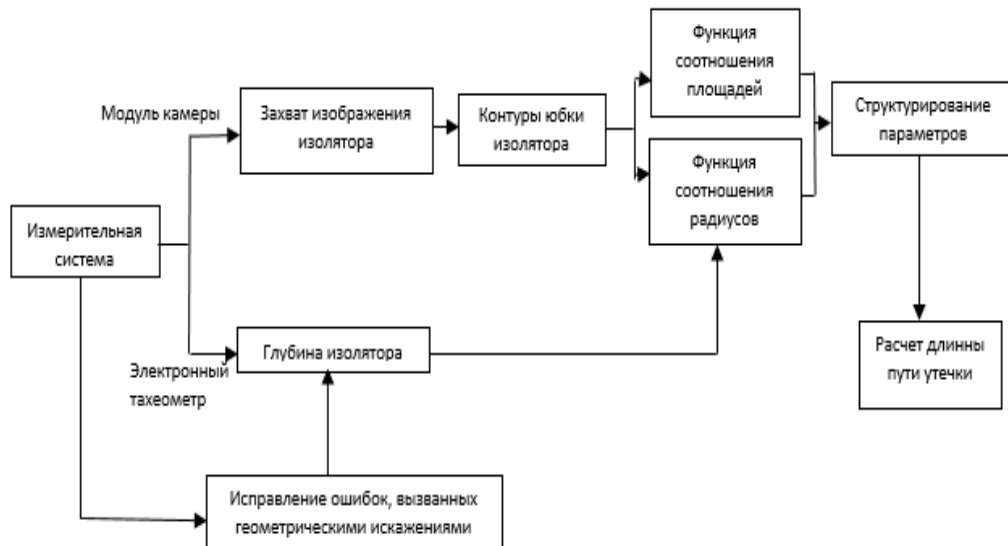


Рисунок 2 – Структурная блок-схема предлагаемого алгоритма измерения расстояния длины пути утечки изолятора.

В основе работы измерительного устройства лежит бесконтактная измерительная система, состоящая из электронного тахеометра и модуля камеры с телеобъективом. Модуль камеры с телеобъективом используется для захвата изображений изоляторов, а электронный тахеометр получает размер глубины изолятора с помощью лазера. Из изображения извлекаются контуры юбки изолятора, а затем получают абсолютные размеры конструктивных параметров изолятора на основе геометрических

характеристик отношения площадей и радиуса. В конце этапа обработки выполняется структурирование параметров, для определения типа изолятора, а затем и длины пути утечки.

Ошибки, вызванные компоновкой измерительной системы, также устраняются для уточнения структурных параметров изолятора, благодаря этому достигается точное распознавание типов изолятора и получения длины пути утечки.

Для последующего проведения измерений

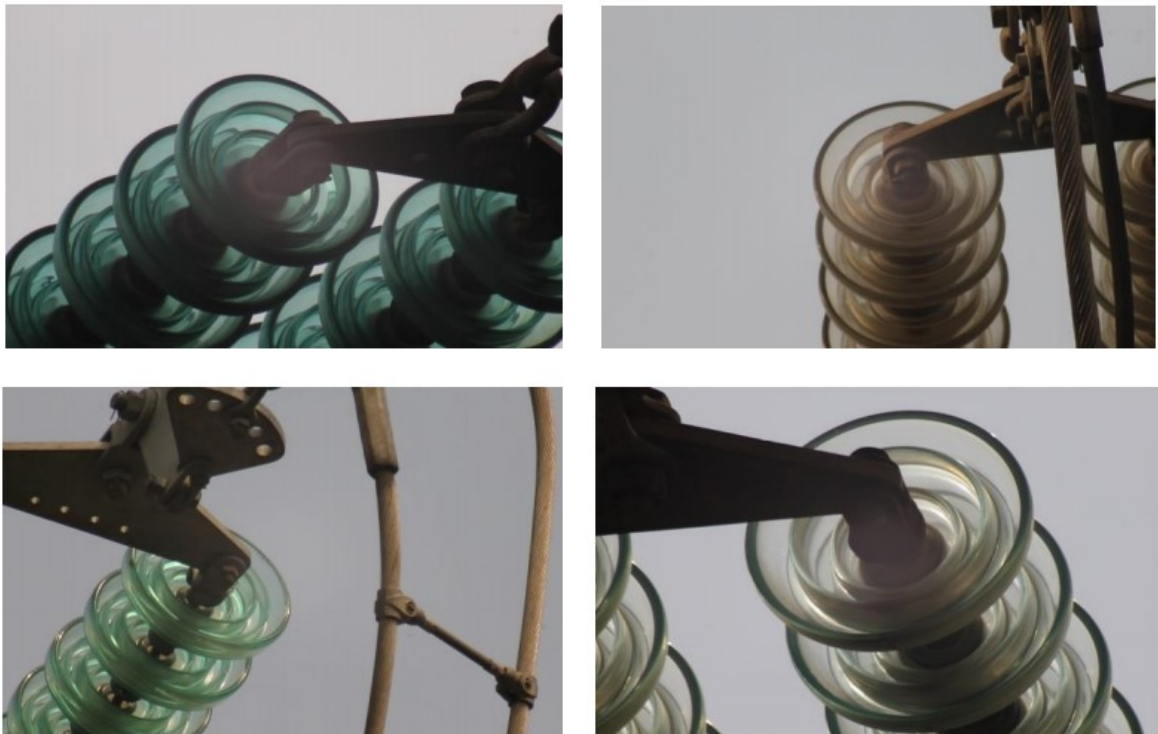


Рисунок 3 – Примеры гирлянд изоляторов различных типов

Результаты измерений [1] показали, что предлагаемая измерительная система с минимальной согласно [1] необходимо провести настройку и ряд тестов предлагаемого устройства, а именно:

1 Сбор данных: Настроить электронный тахеометр для точного попадания лазера в пестик изолятора, а затем захватить четкое изображение отдаленного изолятора, используя камеру с телеобъективом.

2 Параметры решения: Объединить измеренную глубину изолятора и захваченного изображение для погрешностью определила типы изоляторов и вычислила длину пути утечки. Данное решение имеет практическую применимость по определению типов изоляторов в гирлянде и длины пути утечки без использования поверхностного осмотра.

**Алгоритм диагностики распределения напряжения и сопротивления гирлянд изоляторов.** В работе [2] метод измерения распределения напряжения основан на том факте, что отношение

дальнейшего расчета структурных параметров изолятора.

3 Измерение длины пути утечки: Получение результата сопоставления измеренных параметров с известными для типовых изоляторов, определение типа изолятора, а затем определение длины пути утечки.

После проведения ряда настроек и тестирования устройства, проводились измерения ряда гирлянд различных типов изоляторов на действующих ЛЭП Гуанчжоу, провинция Гуангдонг, Шанхай рисунок 3. напряжения возбуждения и распределения напряжения каждого изолятора остается постоянным [6]. В самом деле, когда напряжение 154 кВ подается на изолирующую колонну, состоящую из 12 изоляторов, и ее распределения напряжения измеряют в лаборатории, демонстрируется плавное U-образное распределение напряжения, как представлено на рисунок 4, и повторные испытания также дают почти те же результаты.



Рисунок 4 – Распределение напряжения от количества изоляторов составляющих гирлянду

На этой основе был предложен подход к измерению распределений напряжения по изоляторам, составляющим гирлянду, измеренные значения сохраняются в качестве основы для оценки, а измеренные в полевые условия значения распределения напряжения сравниваются с базовыми значениями для определения неисправности изоляторов [7]. Однако, когда распределение напряжения вдоль гирлянды изоляторов фактически измеряются на линии электропередачи 154 кВ, могут быть смещения в распределении напряжения, даже для гирлянд, которые состоят из одинакового количества изоляторов, из-за различий в емкости отдельных гирлянд изоляторов. Кроме того, влияние температуры, влажности и степени загрязнения изоляторов приводит к распределению U-образной формы с пилообразными формами [8], что делает практически невозможным применение описанного метода. На рисунке 5, который показывает примеры распределений напряжения вдоль гирлянд изоляторов, измеренных на линии электропередачи Чонджу 154 кВ, хорошо видно что распределение напряжения на

гирляндах может существенно отличаться от полученных в лаборатории.

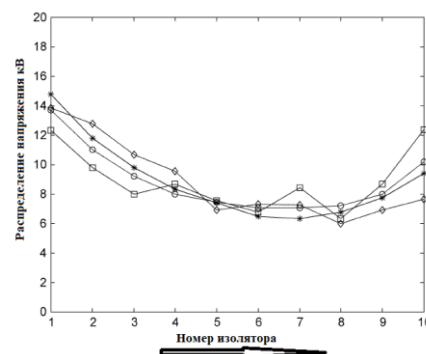


Рисунок 5 – Распределение напряжения вдоль гирлянд изоляторов на ЛЭП Чонджу 154 кВ

Ниже на рисунке 6 представлена структурная схема алгоритма диагностики распределения напряжения вдоль гирлянды изоляторов и сопротивления изоляции гирлянды с последующим выявлением дефектных изоляторов.

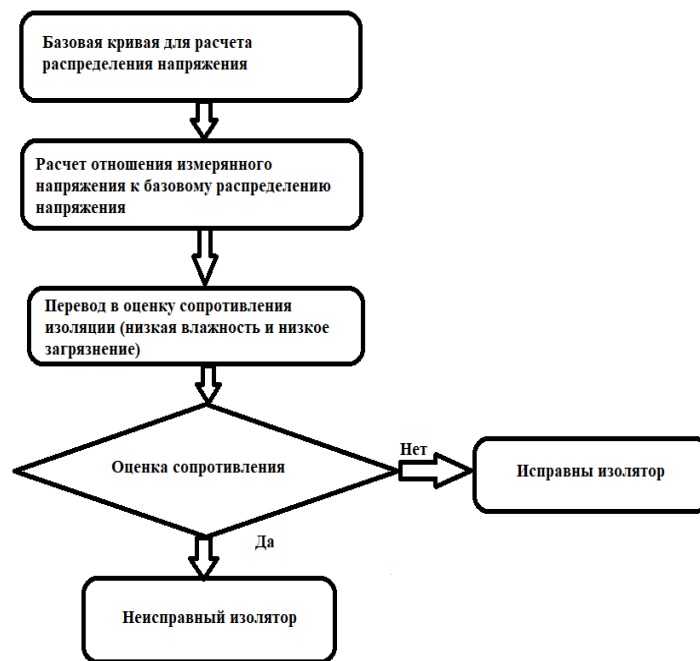


Рисунок 6 – Структурная блок-схема алгоритма диагностики распределения напряжения и сопротивления изоляции гирлянды

**Выводы.** В работе рассмотрены методы диагностики изоляционных конструкций воздушных линий электропередач. Данные методы направлены на обеспечение повышения эффективного использования линий электропередач. Применяя метод оценки состояния изоляции согласно [2], можно на ранних стадиях развития дефекта изоляции предотвратить аварийное отключение линий электропередач.

Полученные коллегами их Китая результаты измерений распределения напряжения по длине гирлянды изоляторов, вызывают интерес, поскольку все исследования подобных распределений дают несколько иные результаты.

Определить достоверность данных приведённых в статье по ее материалам практически невозможно.

По нашему мнению, такие результаты могут быть обусловлены методом измерения распределения напряжения по длине гирлянды изоляторов и сложностью определения момента определения приложенного напряжения

Если принять полученные в статье результаты за истину, то применяя методы диагностики [1, 2] к расчетам потерь энергии в изоляционных конструкциях, можно более точно произвести вычисления токов утечки по поверхности изоляторов в зависимости от степени загрязненности атмосферы и погодных условий при достоверном распределении напряжения и сопротивления изоляции гирлянд изоляторов.

#### Список литературы:

1. Jing Huang, Kejian Liu, Dan Zeng and Zhijiang Zhang An Online Measurement Method for Insulator Creepage Distance on Transmission Lines Energies 2018, 11, 1781; doi:10.3390/en11071781.
2. Joon-Young Park, Jae-Kyung Lee, Byung-Hak Cho, and Ki-Yong Oh Development of Insulator Diagnosis Algorithm Using Least-Square Approximation IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 27, NO. 1, JANUARY 2012 pp. 3-12.
3. Шевченко С.Ю., Данильченко Д.О., Борзенков И.И. Определение токов утечки в изоляции воздушных линий электропередач Вісник Національного технічного університету «ХПІ», 2019 рік, стор. 49-53.
4. Han, Z.X.; Qiao, Y.H.; Sun, Y.; Li, W. Research on image recognition based insulator fault detection method for UVA transmission line. Mod. Electron. Tech. 2017, 40.
5. Wang, L.; Wang, H.G. A survey on insulator inspection robots for power transmission lines. In Proceedings of the 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), Jinan, China, 11–13 October 2016; pp. 1–6.
6. Yan, T.T.; Yang, G.D.; Yu, J.Z. Feature fusion based insulator detection for aerial inspection. In Proceedings of the 36th Chinese Control Conference (CCC), Dalian, China, 26–28 July 2017; pp. 10972–10977.
7. Koo, J.H.; Shin, W.J.; Oh, D.H.; Hwang, R.; Lee, B.W. Comparison of Surface Flashover Characteristics of Rod and Rib Type Post Insulator for Extra-High Voltage Superconducting Fault Current Limiter. IEEE Trans. Appl. Supercond. 2017, 27, 1–5.
8. Kezunovic, M. Smart Fault Location for Smart Grids. IEEE Trans. Smart Grid 2011, 2, 11–22.
9. Saranya, K.; Muniraj, C. Separation of transmission line insulator flashover from a three phase fault using synchronous measurements for a Smart Grid. In Proceedings of the International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), Nagercoil, India, 7–8 April 2016; pp. 503–508.
10. Sun, X.L.; Zhong, H.H.; Xun, T.; Zhang, J. Effects of surface “micro-holes” on the flashover properties of a disk-type ceramic-vacuum insulator. Vac. J. Cit. Rep. 2017, 141, 124–129.
11. Pang, M.X.; Ye, X.N.; Ling, Z.H. Saliency Detection Based on Color and Gradient Boolean Feature. J. East China Univ. Sci. Technol. 2016, 42, 91–96.

#### References



1. Jing Huang, Kejian Liu, Dan Zeng and Zhijiang Zhang An Online Measurement Method for Insulator Creepage Distance on Transmission Lines Energies 2018, 11, 1781; doi:10.3390/en11071781.
2. Joon-Young Park, Jae-Kyung Lee, Byung-Hak Cho, and Ki-Yong Oh Development of Insulator Diagnosis Algorithm Using Least-Square Approximation IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 27, NO. 1, JANUARY 2012 pp. 3-12.
3. Shevchenko S., Danylchenko D., Borzenkov I. Opredeľeniye tokov utechki v izolyatsii vozdushnykh liniy elektroperedach Vísnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu «KHPÍ», 2019, p. 49-53.
4. Han, Z.X.; Qiao, Y.H.; Sun, Y.; Li, W. Research on image recognition based insulator fault detection method for UVA transmission line. Mod. Electron. Tech. 2017, 40.
5. Wang, L.; Wang, H.G. A survey on insulator inspection robots for power transmission lines. In Proceedings of the 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), Jinan, China, 11–13 October 2016; pp. 1–6.
6. Yan, T.T.; Yang, G.D.; Yu, J.Z. Feature fusion based insulator detection for aerial inspection. In Proceedings of the 36th Chinese Control Conference (CCC), Dalian, China, 26–28 July 2017; pp. 10972–10977.
7. Koo, J.H.; Shin, W.J.; Oh, D.H.; Hwang, R.; Lee, B.W. Comparison of Surface Flashover Characteristics of Rod and Rib Type Post Insulator for Extra-High Voltage Superconducting Fault Current Limiter. IEEE Trans. Appl. Supercond. 2017, 27, 1–5.
8. Kezunovic, M. Smart Fault Location for Smart Grids. IEEE Trans. Smart Grid 2011, 2, 11–22.
9. Saranya, K.; Muniraj, C. Separation of transmission line insulator flashover from a three phase fault using synchronous measurements for a Smart Grid. In Proceedings of the International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), Nagercoil, India, 7–8 April 2016; pp. 503–508.
10. Sun, X.L.; Zhong, H.H.; Xun, T.; Zhang, J. Effects of surface “micro-holes” on the flashover properties of a disk-type ceramic-vacuum insulator. Vac. J. Cit. Rep. 2017, 141, 124–129.
11. Pang, M.X.; Ye, X.N.; Ling, Z.H. Saliency Detection Based on Color and Gradient Boolean Feature. J. East China Univ. Sci. Technol. 2016, 42, 91–96.

Надійшла (received) 19.10.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Борзенков Ігорь Ігорович (Борзенков Ігор Ігорович, Borzenkov Igor)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри передачі електричної енергії; г. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7775-9571>; e-mail: [i.borzenkov@etech.sumdu.edu.ua](mailto:i.borzenkov@etech.sumdu.edu.ua)

**Данильченко Дмитрій Алексєєвич (Данильченко Дмитро Олексійович, Danylchenko Dmytro)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри передачі електричної енергії; г. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7912-1849>; e-mail: [danylchenko.e@khpí.edu.ua](mailto:danylchenko.e@khpí.edu.ua).

**Лебєдинський Ігорь Леонидович (Лебєдинський Ігор Леонідович, Lebedinsky Igor)** – кандидат технічних наук, Сумської державний університет, завідує кафедрою електроенергетики; г. Суми, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2843-1032>; e-mail: [i.lebedinskiy@etech.sumdu.edu.ua](mailto:i.lebedinskiy@etech.sumdu.edu.ua)

**Обухов Валерій Романович (Обухов Валерій Романович, Obukhov Valeriy)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент кафедри передачі електричної енергії; г. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6166-0497>; e-mail: [prosto.valeriy.o@gmail.com](mailto:prosto.valeriy.o@gmail.com)

**Собченко Олег Вікторович (Собченко Олег Вікторович, Sobchenko Oleh)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент кафедри передачі електричної енергії; г. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0614-8829>; e-mail: [sob.oleg97@gmail.com](mailto:sob.oleg97@gmail.com)

**Шевченко Сергєй Юрьєвич (Шевченко Сергій Юрійович, Shevchenko Sergey)** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідує кафедрою передачі електричної енергії; г. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9658-7787>; e-mail: [syurik42@gmail.com](mailto:syurik42@gmail.com).